

# PRIMJENA PROCESA DEZINFEKCIJE U PRIPREMI TEHNOLOŠKIH VODA

---

**Markota, Marta**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac  
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:031096>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-27**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied  
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Marta Markota

# **PRIMJENA PROCESA DEZINFEKCIJE U PRIPREMI TEHNOLOŠKIH VODA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2022.

Karlovac University of Applied Sciences

Safety and Protection Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Marta Markota

**APPLICATION OF THE DISINFECTION  
PROCESS IN THE PREPARATION OF  
TEHNOLOGICAL WATERS**

FINAL PAPER

Karlovac, 2022.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Marta Markota

# **PRIMJENA PROCESA DEZINFEKCIJE U PRIPREMI TEHNOLOŠKIH VODA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Dr.sc. Ines Cindrić, prof. v. š.

Karlovac, 2022.



**VELEUČILIŠTE  
U KARLOVCU**  
Karlovac University  
of Applied Sciences

Trg J.J.Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579

Stručni studiji: Sigurnost i zaštita

Usmjerenje: Zaštita na radu

Karlovac, 2022.

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Marta Markota

Matični broj: 0415619035

Naslov: Primjena procesa dezinfekcije u pripremi tehnoloških voda

Opis zadatka:

U ovom završnom radu obradit će se tematika tehnoloških voda. Literaturno će se istražiti vrste tehnoloških voda, zahtjevi njihove kvalitete, te metode kojim se navedeni zahtjevi postižu. Poseban naglasak biti će stavljen na dezinfekcije tehnološke vode.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

Mentor: Dr.sc. Ines Cindrić, prof. v. š.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

## **PREDGOVOR**

*Ovaj rad sam napisala samostalno te je nastao kao rezultat mog stečenog znanja tijekom preddiplomskog studija Sigurnosti i zaštite, uz pomoć i primjenu literature koje sam pronašla.*

*Ovim putem željela bi se prvenstveno zahvaliti svojoj obitelji koja mi je omogućila ovo školovanje i bila potpora tijekom cijelog studija, jer bez njihove podrške ne bi bila sada tu gdje jesam.*

*Zahvaljujem se i svojoj mentorici, dr.sc. Ines Cindrić, prof. v. š. na savjetima i pomoći koju mi je pružila tijekom pisanja ovog rada*

## **SAŽETAK**

Tehnološka voda, također poznata kao procesna voda, je voda koja se koristi u industriji za različite svrhe, uključujući dobivanje energije putem pare, prijenos topline, prijenos otpada ili sirovina, mehanički rad, proizvodnju (kao sirovina), prijenos iona, pranje proizvoda, gašenje užarenih proizvoda, ispiranje plinom i održavanje tlaka. U industriji prema području pripreme razlikujemo rashladnu vodu, kotlovsku (napojnu) vodu te industrijske otpadne vode.

Voda se tretira prije ulaska u sustave, odnosno prije samih tehnoloških procesa, kako bi se smanjilo onečišćenje i poboljšala kvaliteta ulazne vode te izbjegla moguća oštećenja procesne opreme (uređaja) koja se nalazi unutar sustava. Obrada vode uključuje mehaničku, biološku i kemijsku obradu te dezinfekciju koja se može provesti kao jedna od nekoliko koraka ili kao jedini korak obrade.

Proces dezinfekcije ključan je za održavanje kvalitete vode za ljudsku upotrebu i potrošnju. Osnovni cilj dezinfekcije je smanjiti količinu bakterije na razinu koja pri normalnoj uporabi ne predstavlja opasnost za ljudsko zdravlje. Dezinfekcija se smatra ključnom za očuvanje ispravne vode i pokazala se kao nevjerovatno učinkovit tretman. Danas postoji nekoliko tehnika za dezinfekciju vode, uključujući UV zračenje, ozon te klor i njegovi spojevi kao najpoznatija tehnika.

**Ključne riječi:** dezinfekcija, kotlovska voda, rashladna voda, tehnološka voda

## **ABSTRACT**

Process water, also known as process water, is water used in industry for a variety of purposes, including steam energy generation, heat transfer, waste or raw material transfer, mechanical operation, manufacturing (as raw material), ion transfer, product washing, quenching of hot products, gas flushing and pressure maintenance. In industry, according to the area of preparation, we distinguish between cooling water, boiler (feed) water and industrial waste water.

Water is treated before entering the systems, i.e. before the technological processes themselves, in order to reduce pollution and improve the quality of the incoming water and avoid possible damage to the process equipment (devices) inside the system. Water treatment includes mechanical, biological and chemical treatment and disinfection, which can be carried out as one of several steps or as the only treatment step.

The disinfection process is crucial for maintaining the quality of water for human use and consumption. The basic goal of disinfection is to reduce the amount of bacteria to a level that, under normal use, does not pose a danger to human health. Disinfection is considered key to preserving healthy water and has proven to be an incredibly effective treatment. Today, there are several techniques for disinfecting water, including UV radiation, ozone, and chlorine and its compounds as the most well-known techniques.

**Key words:** disinfection, boiler water, cooling water, technological water



## SADRŽAJ

ZAVRŠNI ZADATAK.....	I
PREDGOVOR.....	II
SAŽETAK.....	III
SADRŽAJ.....	IV
1. UVOD.....	1
2. VODA.....	2
2.1. Svojstva vode.....	2
2.2. Hidrološki ciklus.....	4
2.3. Površinske vode.....	5
2.4. Podzemne vode.....	6
2.5. Izvori onečišćenja vode.....	6
3. TEHNOLOŠKA VODA.....	8
3.1. Rashladna voda u industriji.....	9
3.1.1. Problemi s rashladnom vodom.....	11
3.1.2. Rashladni sustav.....	14
3.2. Kotlovska voda (napojna voda) u industriji.....	15
3.3. Postupci obrade tehnološke vode.....	18
3.3.1. Mehanička obrada.....	18
3.3.2. Kemijska obrada.....	19
3.3.3. Biološka obrada.....	21
3.4. Dezinfekcija vode.....	21
3.4.1. Dezinfekcija elementarnim klorom i njegovim spojevima.....	23
3.4.2. Dezinfekcija ozonom.....	25
3.4.3. Dezinfekcija UV zračenjem.....	27
3.5. Zbrinjavanje tehnološke vode nakon uporabe.....	28
4. ZAKLJUČAK.....	29
5. LITERATURA.....	30
6. PRILOZI.....	32
6.1. Popis slika.....	32
6.2. Popis tablica i dijagrama.....	32

## 1. UVOD

Kako bi se zadovoljile potrebe ljudi, obavljaju se brojne aktivnosti poznate kao „gospodarenje vodama“. Opskrba vodom postaje sve zahtjevnija zbog sve češće degradacije vode, a i okoliša, a prije izgradnje bilo kakve opreme ili objekata za opskrbu pitkom vodom važno je ispitati svojstva vode, jer moraju biti zadovoljeni svi državni i međunarodni standardi kvalitete vode.

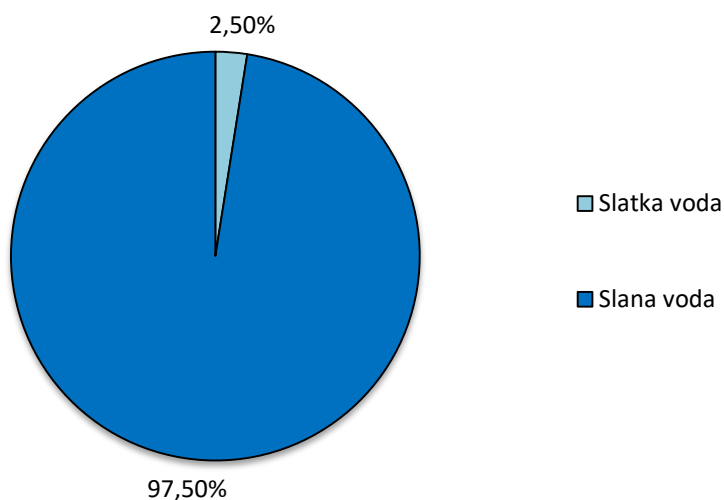
Razvoj tehnike i industrije uvjetovao je znatno bolji standard i udobniji život, a to se posebno ogledalo u velikom porastu potrošnje vode, koja gradnjom vodovoda biva lako dostupna svim grupama potrošača.

Obična „sirova“ voda iz izvora ne zadovoljava standarde kvalitete, pa ju je potrebno kondicionirati kako bi bila prikladna za potrebne namjene. Zbog toga se obično između izvora i vodospreme ugrađuje uređaj za kondicioniranje vode.

Prehrambena i procesna industrija, kao i intenzivna poljoprivredna proizvodnja, među najvećim su potrošačima vode. Voda se intenzivno koristi u proizvodnji prehrambenih proizvoda, čišćenju strojeva, razrjeđivanju elemenata, transportu sirovina, hlađenju itd. Kao rezultat toga, jedna od ključnih briga svake industrije je ekonomično raspolaganje vode, posebice otpadnim vodama koje se, u cilju smanjenja troškova, mogu ponovno upotrijebiti.

## 2. VODA

Život ljudi, životinja, biljaka, pa čak i mikroorganizama zasnovan je na upotrebi vode. Redovito se koristi za piće, čišćenje, navodnjavanje u poljoprivredi i drugim industrijskim aktivnostima. Smatra se da ukupni volumen vode na Zemlji iznosi  $1.386 \cdot 10^9 \text{ km}^3$  ili 71% njezine površine. Mora i oceani čine 97,5% ovog ukupnog volumena, a slatka voda čini 2,5% (Dijagram 1) [1].



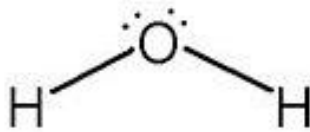
Dijagram 1. Postotak slane i slatke vode na Zemlji

(Izvor: <https://hr.izzi.digital/DOS/1660/1819.html>)

Tekućice i stajaćice zajedno čine samo 0,76% ukupne mase vode na Zemlji, dok je 1,74% raspoloživih zaliha slatke vode zaleđeno [1]. Kako se čovječanstvo širi, troši se više pitke vode, što dovodi do povećanja proizvodnje otpadnih voda koje su zagađene i organskim i anorganskim zagađivačima.

### 2.1. Svojstva vode

Voda ima kemijsku formulu  $\text{H}_2\text{O}$ . Kovalentne veze drže dva atoma vodika i jedan atom kisika zajedno kako bi formirale vodu (Slika 1).



Slika 1. Molekula vode

(Izvor: <https://sites.google.com/site/kemija02/marie-curie-1/-molekule>)

Čista voda je bezbojna tekućina bez mirisa i okusa pri atmosferskom tlaku i temperaturama u rasponu od 0 °C, kada se smrzava, do 100 °C, kada ključa (Tablica 1).

Tablica 1. Svojstva vode

Formula	H <sub>2</sub> O
Točka vrelišta	<b>100°C</b>
Točka ledišta	<b>0°C</b>
Gustoća	<b>0,997 g/cm<sup>3</sup></b>
Molarna masa	<b>18,01528 g/mol</b>

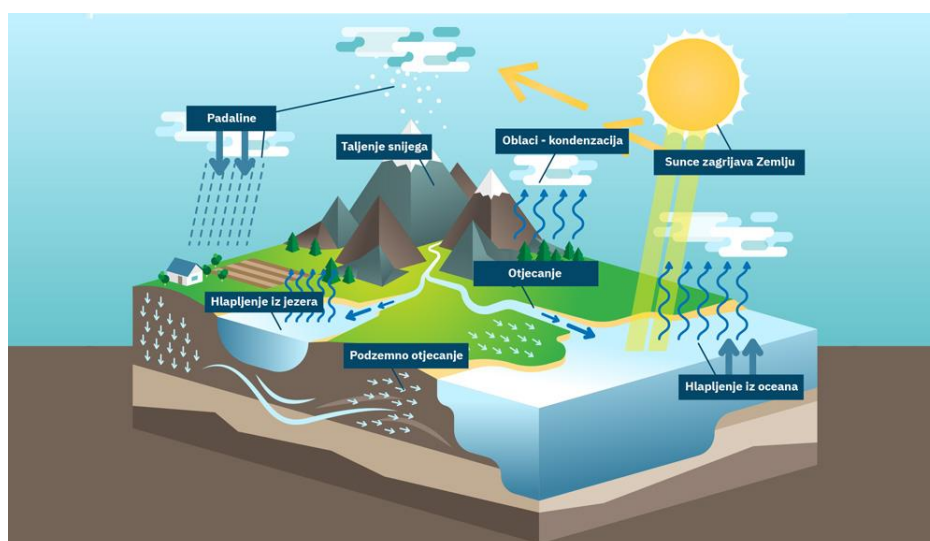
Gustoća vode je najveća na 3,98 °C, stoga led ima manju gustoću od tekuće vode i pluta na njoj, a volumen leda je 9% veći od volumena iste mase tekuće vode. Izrazita fizikalna i kemijska svojstva vode posljedica su kemijske i prostorne strukture njezinih molekula [2, 3]. Molekula vode posjeduje relativno jak dipol zbog značajne razlike u elektronegativnosti između atoma vodika i atoma kisika, dva slobodna, nepodijeljena elektronska para atoma kisika i činjenice da se dvije kovalentne veze između atoma kisika i vodika zatvaraju na kut od 104,5°. Kao rezultat toga, molekule vode i u tekućem i u krutom stanju tvore nakupine molekula koje su međusobno povezane vodikovim vezama. Te su nakupine nestabilne i nepredvidive u tekućoj vodi, ali stvaraju pravilnu tetraedarsku strukturu u ledu, gdje tetraedri čine heksagonalne kanale. Kada se led otopi, njegova tetraedarska struktura kolabira, što rezultira povećanjem

količine molekula vode po jedinici volumena. Istovremeno, kako temperatura raste, molekule vode se udaljavaju i njihov broj po jedinici volumena opada.

Od 0 °C do 3,98 °C prevladava proces kolapsa tetraedarske strukture i povećava se gustoća vode (anomalija vode); iznad 3,98 °C prevladava proces udaljavanja molekula, tj. gustoća vode opada daljnjim porastom temperature, kao i kod većine drugih tvari. Prirodne vode se smrzavaju od površine prema unutrašnjosti, a led koji se stvara na površini sprječava daljnje smrzavanje dubljih područja vode, održavajući tako život u vodi tijekom cijele zime. Kao rezultat, anomalija vode uzrokuje da je dno toplije, a vrh puno hladniji.

## 2.2. Hidrološki ciklus

Voda u prirodi se kreće iz atmosfere prema tlu i zatim ponovno natrag u atmosferu u dinamički složenim reakcijama poznati kao hidrološki ciklus (Slika 2). Hidrološki ciklus uključuje procese kondenzacije, sublimacije, precipitacije, isparavanje te infiltracije. Određena količina vlage kondenzira se i vraća kao snijeg, susnježica, tuča ili kiša pod utjecajem promjena temperature i/ili tlaka. Otprilike 70% ovih tipičnih količina oborina ispari, ostavljajući preostali dio kao površinske ili podzemne vode [1, 4]. Također, određena količina vode isparava i u zraku, između kopnene površine i oblaka.



Slika 2. Ciklus kruženja vode u prirodi

(Izvor: <https://hr.izzi.digital/DOS/580/1953.html>)

Izravno isparavanje s vlažnih površina i transpiracija kroz biljke iz njihovih listova i stabljika održavaju preostale gubitke. Otjecanje, koje čini preko 30% vode koja se ne vraća izravno u atmosferu, potencijalno osigurava dostupnu slatku vodu (Tablica 2) [4].

Tablica 2. Raspodjela vodnih resursa na Zemlji

Rijeke	$9 \cdot 10^{-5}\%$	Arktička ledena kapa	0,224%
Gornji sloj tla	0,00187%	Antarktička ledena kapa	2,239%
Godišnje otjecanje	0,00254%	Godišnje oborine	0,1493%
Jezera	0,00746%	Vlaga u atmosferi	0,0045%
Ledenjaci	0,01493%	Fotosinteza	$7,46 \cdot 10^{-6}\%$
Svježa podzemna voda (1km dubine)	02986%	Oceani	97,057%

Kiša je najznačajniji izvor sirove dostupne vode. Manje od 3% slatke vode na Zemlji nalazi se u jezerima i potocima. Voda prirodno cirkulira mijenjajući svoj sastav, ispire atmosferu, prolazi kroz ceste, zgrade, farme i druge površine, kao i kroz podzemne i nadzemne tokove. Vrlo je bitno naglasiti činjenicu da kvalitetu vode u hidrološkom ciklusu određuju i sve aktivnosti koje se odvijaju u okolišu, antropogene i/ili prirodnog porijekla. Ako se vodama u Republici Hrvatskoj pribroje i vode iz susjednih država, ukupna količina vode u vodotocima iznosi  $156,32 \cdot 10^9$  m<sup>3</sup>/god [4].

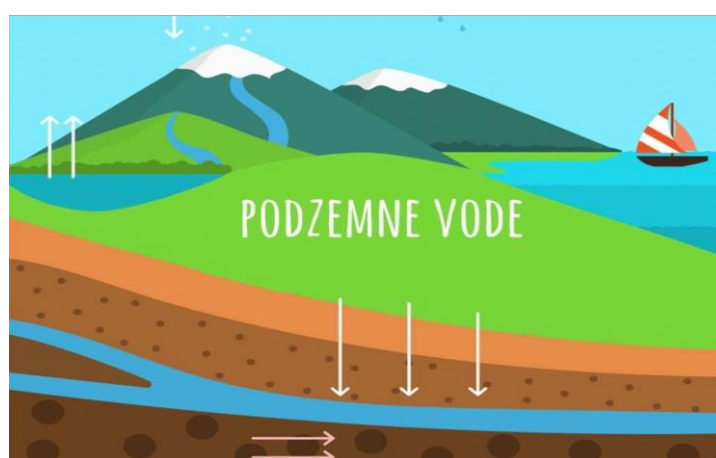
### 2.3. Površinske vode

Površinske vode uključuju tekućice i stajačice, a nastaju od oborinske vode pripadajućeg slijevnog područja te iz podzemnih dotoka. Od ključne je važnosti odrediti kvalitetu površinske vode, koja se koristi kao izvor vode za primjenu u

industriji, a stupanj dodatnog pročišćavanja ove sirove vode određuje prije svega tehnologija, i namjena za koju će se upotrebljavati. [1]

#### 2.4. Podzemne vode

Voda koja ponire s površine zemlje - voda iz oborina i površinska voda koja prodire kroz pukotine u stijenkama ili međuprostore između čestica tla - tvori podzemnu vodu (Slika 3). Kada voda prodre u tlo, ona pokupi različite tvari i čestice tla, ovisno o lokalnim geološkim okolnostima kao i ljudskoj aktivnosti. Stoga su podzemne vode znatno drugačijeg sastava od površinskih voda.



Slika 3. Podzemne vode koje nastaju od oborinskih i površinskih voda

#### 2.5. Izvori onečišćenja vode

Svaka biološka, fizikalna ili kemijska promjena kvalitete vode koja ima negativan utjecaj na živa bića ili vodu čini neprikladnom za određenu funkciju smatra se neupotrebljivom za određenu namjenu.

Prirodne vode mogu biti onečišćene na različite načine:

- Netopljive tvari – suspenzije, koloidno raspršena i plivajuća tvar, taloživa tvar. Njihov je utjecaj negativan jer onemogućavaju prodor svjetla. To smanjuje proizvodnju u ekosustavu, a time i količinu kisika.
- Topljive tvari – najčešće su anorganske tvari, rijetko su zastupljene u visokim koncentracijama jer organizmi ni ekosustavi nisu prilagođeni na njih.

- Organske tvari – onečišćujuće tvari u vodi koje potječu od ljudi, biljaka i životinja. To su ugljikohidrati, bjelančevine i masti. Prisutnost organskih tvari stalan je oblik onečišćenja prirodnih vodnih sredina te one najviše utječu na smanjenje količine kisika u vodnom ekosustavu.
- Toplinsko onečišćenje – fizikalno onečišćenje toplinom. Ono je posljedica ispuštanja toplih voda, najčešće rashladnih voda iz industrijskih ili energetskih objekata.
- Otrovnost tvari – teške kovine, Hg, Pb, Zn, Cd, Cu. U prirodne vode dospjevaju zbog ispiranja zemljišta i otapanja minerala.
- Radioaktivne tvari – dolaze u vodu zbog kemijskih ili biokemijskih procesa, a posljedice toga su mutageni i genetska oštećenja organizama.
- Mikroorganizmi – osim mikroorganizama kojima su prirodne vode staništa, također se u prirodnim vodama nalaze i mikroorganizmi koji dolaze u otpadnim vodama i hrane se organskom tvari iz njih. [1]



### 3. TEHNOLOŠKA VODA

Tehnološka voda, odnosno procesna voda je voda koja se koristi u industriji za različite namjene kao što su: dobivanje energije pomoću pare, prijenos topline, prijenos otpada ili sirovina, obavljanje mehaničkog rada, proizvodnju (kao sirovina), prijenos iona, pranje proizvoda, gašenje užarenih proizvoda, ispiranje plinova i održavanje tlaka.

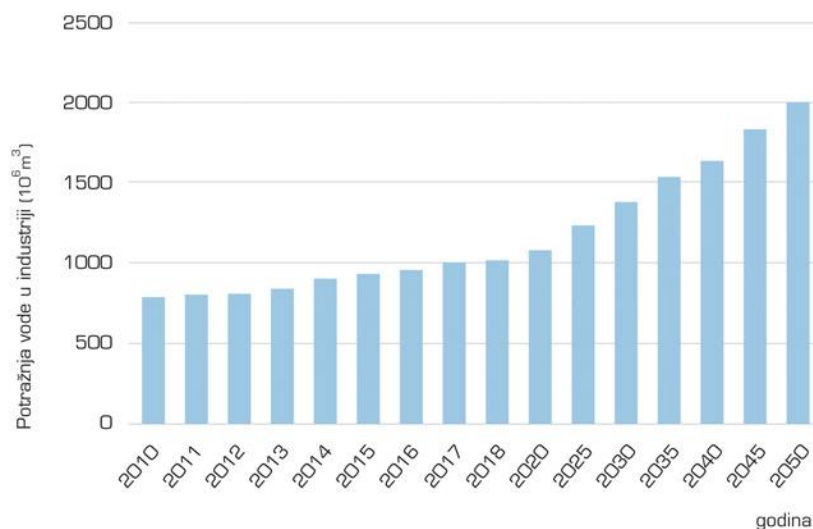
Najveći potrošači vode su tvornice koje troše dnevno 1000 – 2000 m<sup>3</sup> vode (npr. tvornica papira, prerađivači kemijskih proizvoda, željezare i rafinerije nafte i sl.) Srednji potrošači (npr. prehrambena industrija, kemijska industrija) dnevno upotrebljavaju 100 – 200 m<sup>3</sup>, pa su najčešće priključeni na javne vodoopskrbne sustave. Mali industrijski potrošači troše dnevno manje od 50 m<sup>3</sup> vode [7,9].

Količina potrošene industrijske vode po jedinici proizvodnje nekog proizvoda jako varira i ovisi o različitim tehničkim rješenjima (Tablica 3) [8].

Tablica 3. Specifična potrošnja vode za neke industrijske proizvode

<b>Proizvod</b>	<b>Potrošnja vode (m<sup>3</sup>/t)</b>
Papir	80-2000
Šećer	3-400
Čelik	2-350
Nafta	0,1-40
Sapun	1-35
Pivo	8-25

Prema projekciji, ukupna potražnja za industrijskom (tehnološkom) vodom mogla bi se udvostručiti između 2000. i 2050. (Slika 4). Za 2035. godinu očekuje se da će razlika između ponude i potražnje vode samo u energetsom sektoru biti manja od 35%.



Slika 4. Projekcija potražnje za vodom u industriji

(Izvor: <https://tehnika.lzmk.hr/voda/>)

Ovisno o području pripreme, u industriji razlikujemo: rashladne vode, kotlovske (napojne) vode te na samom kraju otpadne vode industrije. Ovisno o upotrebljenom tehnološkom procesu i u energetske pogonima, voda koja se koristi mora imati strogo definiran kemijski sastav. Neki od glavnih zahtjeva tehnološke vode su: bistrina, odsustvo spojeva kalcija i magnezija, posebice željeza i mangana, te mora biti bakterijološki ispravna. Kako bi se smanjila potrošnja prirodnih voda i općenito razborito iskorištavalo vodno bogatstvo, primjenjuje se „reciklirana voda“, odnosno voda koja se ponovno upotrebljava više puta za različite namjene. Time se racionalno koristi resurs te smanjuje potreba za vodom za 10 puta.

### 3.1. Rashladna voda u industriji

Rashladna voda je voda koja ima ulogu medija za odvođenje topline kod tehnoloških procesa. Ima značajnu ulogu u pogonskoj tehnici (za hlađenje strojeva). Svaki pogonski proces zahtjeva točno određeni sastav rashladne vode, a općenite smjernice uključuju vodu koja:

- Mora biti bez suspendiranih tvari
- Mora biti dekarbonizirana

- Mora biti bez tvari koje uzrokuju koroziju na metalnim površinama sa kojima dolaze u kontakt

Kako bi se spriječilo nakupljanje soli i koncentracije koje prelaze dopuštenu granicu, voda se mora pripremati što najčešće podrazumijeva kemijsku obradu, prije primjene u cilju hlađenja određenog procesa. Ovisno o sastavu vode, kemijska priprema rashladne vode može se izvesti na jedan od načina:

### **Dekarbonizacija kiselinom**

„Zakiseljavanje“ vode u svrhu pripreme rashladne vode provodi se u vodama manje karbonatne tvrdoće od 6°nj, budući da hidrogenkarbonati reagiraju s kloridom odnosno sulfatnom kiselinom pri čemu nastaje ekvivalentna količina klorida, odnosno sulfata, pri čemu se tijekom isparavanja u rashladnom tornju oslobađa plin CO<sub>2</sub>. Postupak zahtijeva strogo praćenje sastava vode i mjerenje pH vrijednosti, kako bi se osiguralo da voda ne postane pretjerano kisela i stoga korozivna.

### **Dekarbonizacija pomoću vapna**

Dekarbonacija vode vapnom primjenjuje se za vode karbonatne tvrdoće veće od 6°nj i velike nekarbonatne tvrdoće, osobito sulfatne. Budući da se radi o djelomičnom omekšavanju vode, ova dekarbonizacija ne povećava sadržaj nekarbonatne tvrdoće, ali smanjuje ukupni sadržaj topivih soli u vodi. Takav proces dekarbonizacije danas je rijedak i koristi se samo u brzom reaktoru s dodatkom vapnenog mlijeka.

### **Dekarbonizacija pomoću ionskog izmjenjivača**

Dekarbonacija rashladne vode slabo kiselim kationskim izmjenjivačem provodi se samo ako je karbonatna tvrdoća manja od 6°nj jer se bikarbonati prevode u ekvivalentnu količinu slobodne karbonatne kiseline, koja je tada i agresivna jer u vodi više nema hidrogenkarbonata, koje treba održavati u topivom obliku. Ako je karbonatna tvrdoća visoka, količina slobodne karbonatne kiseline bit će izuzetno visoka. Kao rezultat toga, ovaj se postupak koristi za vodu s karbonatnom tvrdoćom manjom od 6°nj, a nakon dekarbonizacije, voda se mora

odmah provesti u rashladni toranj kako bi se otplinio CO<sub>2</sub> prije ulaska u cjevovode do izmjenjivača topline kako bi se spriječila korozija cjevovoda i rashladnih sustava.

### **Mekšanje (bez dekarbonizacije) u ionskom izmjenjivaču**

Ako je voda visoke karbonatne i nekarbonatne tvrdoće, provodi se potpuno omekšavanje vode, koje se može izvesti sa ili bez prethodne ionske dekarbonizacije. Ukoliko je nekarbonatna tvrdoća visoka, a karbonatna tvrdoća niska, investicija je jednostavnija i jeftinija za samo mekšanje vode u ionskom filtru neutralne izmjene.

### **Stabilizacije karbonatne tvrdoće polifosfatima**

Polifosfati se koriste za sprječavanje stvaranja teško topljivih taloga kalcijeva karbonata obavijajući prvotno stvorene kristale CaCO<sub>3</sub> i sprječavajući njihov daljnji rast. U prisutnosti visoke karbonatne tvrdoće, polifosfat se pretvara u ortofosfat i kalcijev fosfat se taloži. Postupak se primjenjuje kada je karbonatna tvrdoća vode manja od 4°nj, polifosfati se doziraju na ulaz u rashladni sustav u količinama od 0,5 do 2 g/m<sup>3</sup> rashladne vode.

#### **3.1.1. Problemi s rashladnom vodom**

Glavni problem s rashladnom vodom u rashladnim sustavima je pojava kamenca, korozije i rasta mikroorganizama, što uzrokuje smanjenje kapaciteta, povećanu potrošnju vode, visoke operativne troškove, visoke troškove održavanja i korištenje kiselina za čišćenje, što skraćuje vijek trajanja komponenti rashladnog sustava.

*Kamenac* (Slika 5) nastaje kao rezultat taloženja spojeva koje na višim temperaturama postaju netopljivi, poput kalcijevog karbonata. Kamenac sprječava prijenos topline i smanjuje protok. Glavni uzroci zbog kojih dolazi do stvaranja kamenca su porast alkaliteta što uzrokuje povećanje topljivosti i stvaranje naslaga kalcijevog karbonata te kristalizacija slabo topljivih soli uzrokovana visokom temperaturom i/ili malom brzinom protoka vode.

Uklanjanje ili kontroliranje kamenca može se izvršiti: primjenom opreme za mekšanje vode, podešavanje pH na niže vrijednosti čime se potencijal stvaranja kamenca svodi na minimum, doziranje kemijskih inhibitora kamenca i omekšivača u vodu koja cirkulira ili fizikalnim metodama obrade vode (filtracija i magnetski uređaji)



Slika 5. Kamenac u cijevi

*Korozija* (Slika 6) je proces kroz koji se strukturni materijali uništavaju fizičkim, kemijskim i biološkim agensima. Uzrokuje prerano starenje metala, korozivne naslage smanjuju prijenos topline i brzinu protoka. Meki čelik najzastupljeniji je metal koji se koristi u rashladnim sustavima koji je najosjetljiviji na koroziju. Drugi metali, poput bakra, nehrđajućeg čelika i aluminijskih legura, također su korozivni, ali u znatno manjoj mjeri. Glavni čimbenici koji uzrokuju koroziju su:

1. Alkalitet – vode sa niskim alkalitetom imaju malu pufersku sposobnost, stoga takve vode mogu otopiti kisele plinove iz zraka te uzrokovati otapanje metala i zaštitinih filmova na metalnim površinama;
2. Otopljeni kisik – koncentracija otopljenog kisika je temeljni čimbenik korozivne aktivnosti vode;
3. Ukupno otopljene tvari – voda koja sadrži visoku koncentraciju ukupno otopljenih tvari ima veću tendenciju stvaranja korozije;
4. Brzina vode – velika brzina vode povećava koroziju prenoseći kisik metalu i odvođenjem produkata korozije većom brzinom;

5. Temperatura – svako povišenje temperature za 2°C do 4°C dvostruko ubrzava koroziju.

Uklanjanje korozije uključuju metode: odabir pogodnih konstrukcijskih materijala otpornih na koroziju, dodatak kemijskih inhibitora koji stvaraju zaštitni film koji voda može raspodjeliti do svih mokrih dijelova u sustavu, kontrola kamenca i mikrobnog rasta, primjena zaštitnih premaza kao što su boje, katran ili plastika na vanjskim površinama.



Slika 6. Pojava korozije

*Mikroorganizmi* (alge, protozoe i bakterije) mogu se razvijati u rashladnim sustavima pod sljedećim uvjetima: odgovarajuća temperatura i pH, otopljeni kisik, svjetlost. Mikroorganizmi stvaraju kolonije u područjima s malom brzinom vode, što dovodi do njihovog nekontroliranog nakupljanja. Ove naslage mikroorganizama putuju kroz cjevovod i ometaju protok vode kroz cijevi, cjedila, mlaznice za prskanje i kontrolne ventile.

Najčešće korištena sredstva za kontrolu rasta mikroorganizama su biocidi. To su sredstva za uništavanje štetnih živih organizama i kontrolu bakterijskog i gljivičnog rasta koji se koriste u komunalnoj higijeni, medicini, poljoprivredi te za zaštitu materijala. Biocidi se dijele u tri glavne skupine: neoksidirajući biocidi, oksidirajući biocidi, biodisperzanti.

### **3.1.2. Rashladni sustav**

Sustavi rashladne vode klasificirani su u tri vrste:

#### **Sustav protočnog hlađenja**

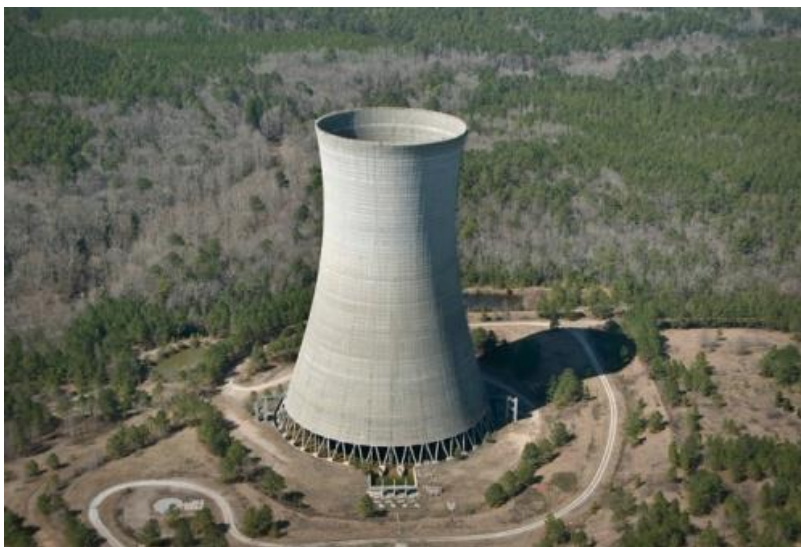
Ukoliko se u blizini nalaze veće količine vode koje se mogu sakupiti, kao što su rijeke, jezera ili mora, može se koristiti protočni sustav hlađenja, gdje se voda usmjerava kroz rashladni sustav i zatim ispušta u prirodni recipijent. Protočni sustavi s jednim prolazom vode bili su najčešći u početku zbog svoje jednostavnosti, niske cijene i mogućnosti smještaja elektrana u područjima s velikim zalihama potencijalne rashladne vode. Jednoprolazni sustavi danas su rjeđi zbog velike količine vode potrebne za hlađenje i ozbiljnog narušavanja ekosustava (pomor riba, biljaka i drugog vodenog života uzrokovanog ispuštanjem golemih količina vode s povišenom temperaturom).

#### **Recirkulirani zatvoreni rashladni sustav**

Zatvoreni sustav s recirkulacijom je sustav hlađenja koji cirkulira voda u depozitu zatvorenog prostora uz malo isparavanja ili izloženosti atmosferi ili drugim utjecajima koji bi mogli utjecati na kemijski sastav vode u tom sustavu. Ovi sustavi su isplativi jer zahtijevaju malo ili nimalo svježe vode sve dok se ne pojave problemi s pumpama, poput prekomjernog unosa vode u rezervoare i površinskog isparavanja kroz ventile sustava. Nadopunjavanje svježe vode zahtijeva redovite analize za kontrolu i poboljšanje kvalitete vode.

#### **Recirkulirajući otvoreni rashladni sustav**

Otvoreni rashladni sustav s recirkulacijom sastoji se od rashladnog tornja (Slika 7) ili bazena za isparavanje koji smanjuje toplinu koja dolazi s proizvodom ili procesom iz postrojenja. Otvoreni sustav s recirkulacijom uzima vodu iz rashladnog tornja ili bazena, prolazi kroz rashladnu opremu, a zatim je vraća kroz uređaj za isparavanje. Ponavlja se proces ponovne upotrebe vode uz uzimanje dovoljnog volumena svježe vode da se nadoknadi voda koja je isparila i da se kontrolira kemijski sastav recirkulacijske vode. Ova tehnologija smanjuje potrebnu količinu vode i količinu ispuštanja u prihvatne tokove.



Slika 7. Rashladni toranj

### **3.2. Kotlovska voda (napojna voda) u industriji**

Sirova prirodna voda nikad se ne upotrebljava izravno u parnim kotlovima jer sadrži mehaničke nečistoće, otopljene soli i plinove. Napojna voda, koja se dovodi u kotao, i kotlovska voda, koja se nalazi u kotlu, moraju imati takva svojstva da bude sigurna i ekonomična proizvodnja tehnički čiste vodene pare, da se na ogrjevnim površinama u dodiru s vodom ili parom ne taloži kotlovski kamenac i da se ne pojavljuje korozija u sustavu voda – para.

Opći je zahtjev da napojna voda mora biti bistra i bezbojna, dakle bez lebdećih tvari i muteža. Korozija željeznih stijenki sprječava se održavanjem koncentracije kisika ispod dopuštene granice. Do sada nije zapažena korozija pri koncentraciji od 0,02 mg O<sub>2</sub> po litri vode, a tu je granicu tehnički relativno lako ostvariti. Međutim, u toku obustave pogona povećava se opasnost od korozije, pa se nastoji održati koncentracija kisika dosta ispod dopuštene granice. O tvrdoći vode ovisi stvaranje kotlovskog kamenca koji se taloži na unutarnje stijenke cijevi u kotlu. Kotlovac nastaje zagrijavanjem vode s otopljenim solima različitih minerala, u prvom redu vode s ionima kalcija i hidrogenkarbonatima. Pri tome treba razlikovati mulj od kotlovskog kamenca. Mulj se sastoji također od netopljivih spojeva, ali se oni ne talože na stijenkama, već ostaju raspršeni u vodi. Već samo nekoliko desetaka miligrama soli po litri napojne vode uzrokuje velike teškoće u pogonu parnog kotla, jer se s



vremenom u kotlu nataloži kotlovski mulj ili kotlovski kamenac. Taloženje kamenca, koji je vrlo dobar toplinski izolator, smanjuje prijelaz topline i povisuje temperaturu ogrjevnih površina, pa zbog toga popušta materijal i pucaju cijevi. U kotlovima malog učina, kao što su stariji tipovi plamenocijevnih kotlova, može se upotrebljavati i nešto tvrđa voda, jer se istaloženi kamenac mogao ukloniti mehanički specijalnim alatom za vrijeme obustave pogona. Takva mogućnost ne postoji za moderne kotlove velikog učina.

Koncentraciju željeza i bakra u napojnoj vodi treba održati ispod dopuštene granice da bi se osigurala čistoća pare. Nešto veća koncentracija karbonatne kiseline  $H_2CO_3$ , odnosno u vodi otopljenog ugljik-dioksida može pobuditi koroziju željeza. Zbog toga se koncentracija ugljik-dioksida u napojnoj vodi mora održavati na razini dopuštenih iznosa.

Napojna voda mora biti kemijski neutralna ili slabo bazična da se spriječi korozija koja bi nastala kad bi voda bila imalo kisela. Mjerilo kiselosti ili bazičnosti vode jest vrijednost pH, koja za kotlovsku napojnu vodu ne smije biti veća od 9,5. Zbog čistoće pare važno je da koncentracija silikatne kiseline bude u dopuštenim granicama, jer se silicij-dioksid taloži na lopaticama turbine.

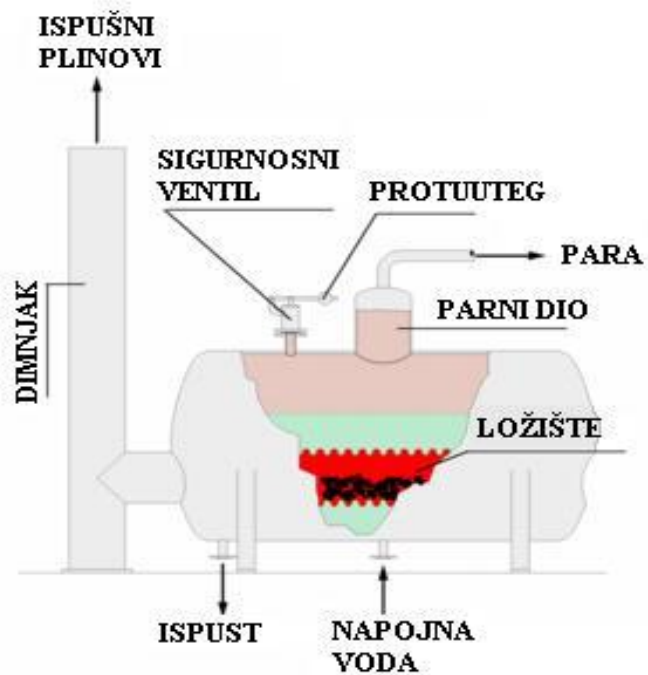
Električna vodljivost je također jedan od pokazatelja čistoće napojne vode. Električna provodnost ovisi o koncentraciji iona, pa za kemijski čistu vodu ona iznosi 0,05 S/cm.

Priprema vode za napajanje parnog kotla sastoji se od niza tehnoloških postupaka kojima se sirova voda obrađuje tako da dobije svojstva propisana uvjetima za kvalitetu napojne vode:

- Odstranjivanje mehaničkih nečistoća i koloidnih čestica
- Odstranjivanje željeza i mangana
- Postupci taloženja
- Omekšavanje i demineralizacija vode ionskim izmjenjivačima
- Odsoljavanje vode pomoću isparivača
- Otplinjavanje napojne vode

Ovisno o izvedbi, kotao može biti:

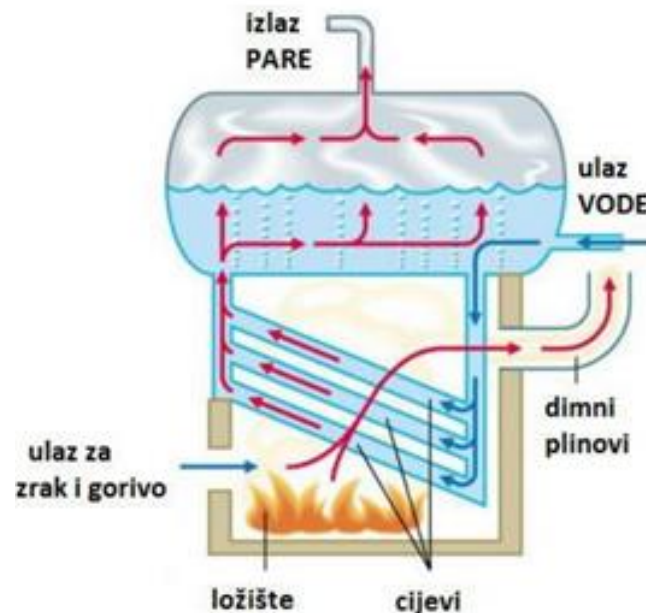
- VATROCJEVNI kotao – plamen i dimni plinovi prolaze kroz cijevi koje su obuhvaćene bubnjem u kojem je voda, kapacitet proizvodnje pare je do 25 t/h, tlak do 30 bara, proizvodni troškovi su niski (Slika 8);



Slika 8. Vatrocjevni kotao

(Izvor: <https://www.wikiwand.com/sh/Kotao>)

- VODOCJEVNI kotao – vrsta kotla kod kojeg voda cirkulira unutar cijevi, a oko cijevi struje dimni plinovi ili su pak cijevi izložene vatri, upotrebljava se kod zahtjevnijih parnih postrojenja, s većim tlakovima i sustavom pregrijane pare, konstrukcija je složenija od vatrocjevne (Slika 9).



Slika 9. Vodocjevni kotao s uzdužno postavljenim bubnjem

### 3.3 Postupci obrade tehnološke vode

Prije ulaska u sustave, odnosno prije samih tehnoloških procesa, voda se obrađuje u svrhu smanjenja onečišćenja tvari i poboljšanja kvalitete ulazne vode, kako bi se izbjegla moguća oštećenja na procesnim uređajima koji se nalaze unutar sistema. Obrada vode sastoji se od mehaničke, biološke i kemijske obrade.

#### 3.3.1 Mehanička obrada

Zasniva se na tri principa: gravitaciji (sedimentacija), flotaciji te filtraciji. Procesni korišteni u sklopu mehaničke obrade ne mijenjaju niti fizikalne niti kemijske karakteristike prisutnih tvari, već ih samo uklanjaju iz onečišćene vode. Krute tvari prisutne u onečišćenoj vodi mogu uzrokovati začepjenja u

cijevima, ventilima i ostalim dijelovima tehnologija koje se koriste za dobivanje pitke vode iz slane ili slatke vode.

*Sedimentacija* je jedna od najstarijih metoda za obradu voda. Voda se uvodi u veliki bazen, pri čemu se nakon određenog vremena na dnu talože većina većih čestica. Brzina taloženja čestica ovisi o njihovoj gustoći.

*Flotacija* je postupak odvajanja onečišćenih tvari koji se temelji na razlici površinskih svojstava prisutnih čestica i djelovanja privlačnih sila između tih čestica i molekula vode. Ovaj postupak se koristi za čestice manjih brzina taloženja, a princip smanjenja onečišćenja je vrlo jednostavan. Ukoliko se unutar flotacijske ćelije uvede zrak, stvorit će se pjena, a hidrofobne čestice vezat će se za mjehure pjene. S obzirom da su nakupina čestica i zračnog mjehura manje gustoće, te će nakupine isplivati na površinu. Nastala pjena se potom skuplja i odvodi, a čvrste čestice se odvajaju od vode zgušnjavanjem ili filtracijom.

*Filtracija* je jedna od najstarijih metoda mehaničke obrade, a temelji se na različitoj veličini prisutnih čestica. Uključuje razdvajanje heterogene smjese kapljevitih i čvrstih tvari pomoću šupljikave pregrade koja je propusna samo za kapljevину. Čestice koje zaostaju na površini filtra stvaraju filtarski kolač, dok se voda koja prolazi kroz filtarsko sredstvo naziva filtrat. Danas su poznate brojne metode filtracije s obzirom na veličinu čestica, pa stoga imamo mikrofiltraciju, ultrafiltraciju, nanofiltraciju itd. [1]

### **3.3.2. Kemijska obrada**

Provodi se nakon odgovarajuće mehaničke obrade te uključuje dodatak različitih kemikalija u svrhu uklanjanja ili stabilizacije onečišćujuće tvari. Procesi kemijske obrade obuhvaćaju koagulaciju, flokulaciju, oksidaciju/redukciju, precipitaciju i ionsku izmjenu.

*Koagulacija i flokulacija* su procesi u kojima se formiraju veće nakupine čestica dodatkom određenih kemikalija (aluminijeve soli, škrob, željezni spojevi). Također mogu se upotrebljavati i kationski i anionski polimeri, ali njihova

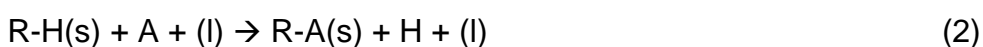
primjena je u odnosu na navedena koagulacijska sredstva manja s obzirom na njihovu cijenu. U procesu koagulacije dolazi do stvaranja želatinozne mase koja se kasnije taloži, a u procesu flokulacije se, uslijed nježnog miješanja ili mućkanja, stvaraju aglomerati koji su dovoljno veliki za proces filtracije.

*Kemijska oksidacija i redukcija* su dva glavna procesa kojima se organske i anorganske tvari uklanjaju iz voda ili se pretvaraju u oblike koji su manje štetni. Procesom oksidacije se organske tvari prevode u vodu i ugljik, kao i u druge biorazgradive produkte kao što su: alkoholi, aldehidi, ketoni ili karboksilne kiseline. Tvari koje se koriste kao oksidansi su: klor, ozon, klorov dioksid, kalijev permanganat i vodikov peroksid. Kemijska oksidacija se u procesima obrade najčešće koristi za kontrolu željeza, uklanjanje mangana te za dezinfekciju, a u konačnici za poboljšanje okusa, mirisa i boje obrađene vode. Ovom metodom se uspješno uklanjaju i spojevi kao što su amonijak, fenoli, bojila i sl. Primjerice, amonijak se iz vode uklanja pomoću klora pri čemu nastaje dušik prikazan jednadžbom (1).



*Precipitacija* se temelji na smanjenju topljivosti otopljenih onečišćujućih tvari pri čemu dolazi do nastanka mulja koji se potom odvaja. Topljivost se može smanjiti dodatkom kemikalija (aluminijevi spojevi, željezovi kloridi, sulfati te vapno) ili sniženjem temperature. Ovim postupkom moguće je ukloniti i do 60% onečišćujućih tvari, a najčešće se koristi za omekšavanje vode te uklanjanje teških metala i fosfata.

*Ionska izmjena* je proces u kojem dolazi do izmjene između iona istog naboja (bilo aniona ili kationa) pri čemu se tijekom izmjene otpušta stehiometrijski ekvivalentna količina istovrsnog naboja. Proces ionske izmjene može se pojednostavljeno prikazati jednadžbom (2).



Proces ionske izmjene ovisi o parametrima kao što su pH, temperatura, početna koncentracija onečišćujućih tvari i vrijeme kontakta, a prednost ove metode je što se ionski izmjenjivači mogu regenerirati i ponovno koristiti. Opisana metoda koristi se za obradu nižih koncentracija organskih i anorganskih tvari pri čemu je učinkovitost ove metode i do 90%. [1]

### **3.3.3. Biološka obrada**

Temelji se na razgradnji onečišćujućih tvari u vodi pomoću različitih vrsta mikroorganizama, pri određenim uvjetima. S obzirom na vrstu mikroorganizama koji se koriste, biološka obrada dijeli se na aerobnu i anaerobnu.

*Aerobna obrada* odvija se u prisutnosti kisika koji pogoduje aerobnim mikroorganizmima u pretvorbi organskih onečišćujućih tvari u ugljikov dioksid, vodu i biomasu. Uspješnost procesa razgradnje direktno ovisi o koncentraciji prisutnog kisika, retencijskom vremenu, temperaturi i biološkoj aktivnosti bakterija.

*Anaerobna obrada* se provodi bez prisutnosti kisika te pogoduje anaerobnim mikroorganizmima koji razgrađuju onečišćujuću organsku tvar u metan, ugljikov dioksid i biomasu. U usporedbi s aerobnim procesom, anaerobnom obradom proizvode se manje količine proizvedene biomase (i manji je trošak zbrinjavanja) te je manja potreba za hranjivim sastojcima, a proizvedeni metan se može koristiti kao gnojivo. [1]

### **3.4. Dezinfekcija vode**

Osim primjene navedenih procesa mehaničke, kemijske i biološke obrade, potrebno je provesti i postupak dezinfekcije. Primarni cilj dezinfekcije je iskorijeniti bakterije ili smanjiti njihovu populaciju na razinu koja, u danoj situaciji i tipičnim uvjetima uporabe, ne predstavlja prijetnju ljudskom životu ili zdravlju. Unatoč nekim rizicima povezanim s rukovanjem kemikalijama i nastanka nusprodukata dezinfekcije od kojih neki mogu biti štetni za zdravlje, dezinfekcija se pokazala vrlo učinkovitom strategijom u borbi protiv bolesti koje se prenose vodom i stoga se smatra ključnom za održavanje čiste vode. Može se provesti

kao jedan od nekoliko koraka u procesu obrade vode ili kao jedini korak obrade. Dezinfekcija je moguća samo u bistroj vodi. Čak i najmanja količina zamućenja može ometati proces dezinfekcije i uzrokovati neuspjeh. Danas nam je na raspolaganju nekoliko tehnika za dezinfekciju vode:

- Dezinfekcija klorom i klornim preparatima
- Dezinfekcija ozonom
- Dezinfekcija UV zračenjem

Klorni preparati su najpopularniji zbog jednostavnosti upotrebe, pristupačnosti i prednosti rezidualnog dezinfekcijskog djelovanja. No svaki dezinficijens ili metoda dezinfekcije, uz svoju uporabnu i temeljnu funkciju, ima i nedostatke.

Čimbenici koji mogu utjecati na učinkovitost dezinfekcije:

Zamućenost (mutnoća), osobito ona uzrokovana povećanjem količine organske tvari, ima negativno utječe na efikasnost. To znači da se mutna voda prije dezinfekcije mora prvo razbistriti pomoću nekoliko tehnika (koagulacija, taloženje, filtracija, sedimentacija). Osim što je neuspješna, dezinfekcija mutne vode, može unijeti toksične elemente kojih prije nije bilo.

Sposobnost dezinfekcije da ubije bakterije obrnuto je povezana s temperaturom. To znači da će se bakterije brže uništiti u toploj vodi nego u hladnoj.

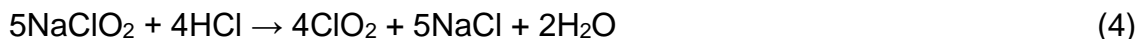
pH-vrijednost se može prilagoditi dodavanjem raznih kemikalija prije dezinfekcije, a dokazano je da dezinfekcija najbolje funkcionira u vodama koje se kreću od blago kisele pH-vrijednosti do neutralne pH-vrijednosti.

Meteorološki utjecaj - UV zrake sunčeve svjetlosti ubrzavaju dezinfekciju ali također utječu na gubitak aktivnog klora.

### 3.4.1. Dezinfekcija elementarnim klorom i njegovim spojevima

Najraširenija i najisplativija metoda dezinfekcije vode je klor i njegovi spojevi. Kloriranje se najčešće ptovodi elementarnim klorom ( $\text{Cl}_2$ ), klornim dioksidom ( $\text{ClO}_2$ ), natrijevim hipokloritom ( $\text{NaOCl}$ ) i kloraminom. Sposobnost spojeva na bazi klora da dezinficiraju vodu određena je količinom aktivnog klora u njima, što se odnosi na količinu hipokloritne kiseline koja nastaje kada se dezinfekcijsko sredstvo doda u vodu. Ovisno o obliku klora, klor i njegovi derivati brže ili sporije uništavaju mikroorganizme. Plinoviti klor je najučinkovitiji u ubijanju bakterija, zatim hipoklorit, dok je kloramin najsporiji.

**Klorov dioksid** je najjači dezinficijens na bazi klora. Proizvodi se na mjestu gdje se vrši dezinfekcija jer se zbog svoje nestabilnosti ne može pomicati. U usporedbi s drugim dezinficijensima na bazi klora, rezidualni klor dioksid ostaje u vodi dulje vrijeme, što ga čini učinkovitijim dezinficijensom od elementarnog klora. Za razliku od klora, učinak dezinfekcije se ne smanjuje porastom pH vrijednosti. Najbolje djeluje pri pH vrijednostima u rasponu od 5 do 10. U procesu dezinfekcije klor dioksid ne stvara molekule trihalometana. Nakon reakcije, oko 50-70% klor dioksida u procesu kondicioniranja pojavljuje se kao klorit, dok se ostatak pojavljuje kao klor. Dok putuje kroz opskrbni sustav, zaostali klorit nastavlja se raspadati. Cilj postupka je stvoriti otopinu visoke čistoće. U procesu kondicioniranja, klor dioksid uzrokuje reakciju soli i klora u tekućem ili plinovitom stanju prema jednadžbi:



Kontrolira okus, miris, razine željeza i mangana u vodi. Klor dioksid eliminira biofilmove i time uništava mikrobiološke uvjete u cjevovodu.

**Natrijev hipoklorit** ( $\text{NaOCl}$ ) sadrži 10-15% aktivnog klora. Ono je najčešća metoda dezinfekcije bazenske vode, koji zaustavlja rast bakterija i algi. Koristi se za čišćenje cisterni, bunara i bazena. Jednostavan je za skladištenje, transport i korištenje. Kada otopina natrijevog hipoklorita reagira s



drugim kemikalijama, postaje zapaljiva. Kada se NaOCl otopi u vodi, stvara hipokloritnu kiselinu (HOCl) i hipokloritni ion (OCl<sup>-</sup>), a oba imaju dezinfekcijska svojstva. Da bi dezinfekcija bila uspješna, za podizanje pH vode koristi se NaOCl, a za snižavanje klorovodična kiselina (HCl). Nedostaci natrijevog hipoklorita uključuju mogućnost korozivnog djelovanja, nestabilnost tijekom dugog skladištenja i stvaranje kloroorganskih spojeva.

**Kloramini** su također korisni za dezinfekciju vode. Činjenica da su kloramini stabilniji od hipoklorita, polagano otpuštaju klor u vodu i polagano se razgrađuju do hipokloritne kiseline objašnjava visoku razinu učinkovitosti metode dezinfekcije. Doziranje se postiže istovremenim dodavanjem klora i amonijaka u vodu ili dodavanjem gotovih kloramina kao što su trikloramin, dikloramin i monokloramin. Također se polagano razgrađuju do hipokloritne kiseline.

**Elementarni klor** eliminira štetne bakterije i omogućuje jednostavno doziranje i mjerenje koncentracije u vodi.

$$\text{DOZA KLORA} = \text{POTREBA ZA KLOROM} + \text{REZIDUALNI KLOR}$$

*Doza klora* koju je potrebno dodati vodi da bi se izvršili postupci dezinfekcije predstavlja zbroj potrebe vode za klorom i rezidualnog klora. Doza klora se izražava u mg/l klora kojeg je potrebno dodati vodi.

*Potreba vode* za klorom podrazumijeva se količina klora (mg/L), kojeg je potrebno dodati vodi do pojave rezidualnog klora.

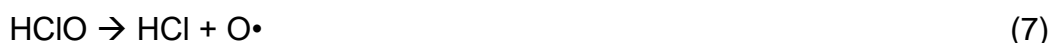
*Rezidualni klor* predstavlja koncentraciju klora koja je zaostala u vodi kao višak nakon reakcija klora s tvarima koje se mogu oksidirati u vodi, tj. nakon završenog procesa dezinfekcije.

Klor ubija mikroorganizme tako što stvara hipokloritnu kiselinu dodatkom u vodu, koja kemijski reagira s enzimskim sustavom bakterijske stanice, što je bitno za metaboličku funkciju organizma. Stvaranje kancerogenih trihalogenmetana tijekom reakcije elementarnog klora s organskim spojevima u vodi jedna je od loših strana elementarnog klora. Klor reagira s fenolima,

amonijakom, bromom i drugim tvarima, čime se troši dodatna količina klora. Klor dodan slobodnoj vodi od organske tvari razvija hipoklornu kiselinu (HOCl) prema jednadžbi (5).



HOCl dalje disocira prema izrazu:



Najučinkovitiji oblici klora u procesu dezinfekcije su hipokloritna kiselina (HOCl) i hipokloritni ion  $\text{OCl}^-$ , koji označuju "slobodni klor". Konkretno, HClO je oksidacijsko sredstvo, a njezin dezinfekcijski učinak pripisuje se ili disociranoj HClO (eq.6) ili nastalom slobodnom radikalu kisika ( $\text{O}\cdot$ ) (eq.7), koji nastaje zbog visokog afiniteta klora prema vodiku. Dezinfekcija vode klorom je nije izravan postupak, već se mora provoditi tijekom vremena kako bi se uništili određeni organizmi. Svaka dezinfekcija vode klorom u bilo kojem obliku mora biti pod trajnom kontrolom. Prilikom upotrebe klorom i klornim spojevima potrebno je koristiti zaštitnu opremu. [6]

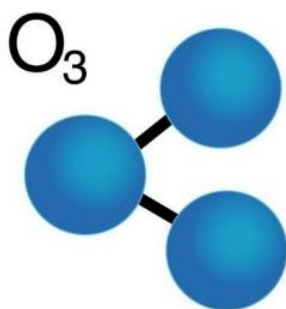
### 3.4.2. Dezinfekcija ozonom

Najbolje kemikalija za dezinfekciju vode je ozon (Slika 10), ono je snažno oksidirajuće i dezinfekcijsko sredstvo. U usporedbi s klorom i spojevima klora, jače je dezinfekcijsko sredstvo. Uključuje prolazak kroz visokonaponsko električno pražnjenje, pri čemu nastaje ozon koncentracije od približno 1000mg/L, koji se potom upuhuje u spremnik za dezinfekciju vode. Nema potrebe za dodatnim zalihama ili reagensima, a proces je brz. U kontaktu od 10 do 30 minuta brzo ubija ili uništava patogene bakterije. Ovaj proces je potpuno ekološki prihvatljiv. Kada se ozon raspadne, oslobađa se atom kisika koji utječe na bakterije i organske tvari. Temperatura je presudna za učinkovitost dezinfekcije ozonom (ozonizacija). Niže temperature poboljšavaju učinkovitost procesa. Brojne prednosti ozonizacije uključuju mogućnost potpune dezinfekcije vode, razgradnju i oksidaciju organskih tvari prisutnih u vodi, uklanjanje

mangana i željeza taloženjem iz vode, inaktivaciju virusa, poboljšanje okusa i mirisa vode, uklanjanje boje vode, uklanjanje fenola i klorofenola iz vode i činjenica da sve tvari koje mogu oksidirati ozon (kao što su nitriti). Kako bi se osiguralo da korist ne postane rizik, potrebno je pridržavati se odgovarajućeg doziranja kemikalije. Čak i nakon ozonizacije, ključno je održavati preostalu dozu od 0,4 mg ozona/L najmanje 4-5 minuta. Ovaj rezultat pokazuje da je proces dezinfekcije ozonom pravilno proveden. Kao rezultat toga, proces pročišćavanja vode ozonom podijeljen je u različite faze:

- Dezinfekcija i eliminacija bakterija i virusa, kao i oksidacija nečistoća i tvari koje sadrže željezo;
- Dodatno pročišćavanje vode filtrom s aktivnim ugljenom;
- Filtriranje ostataka oksidacije, što je talog vapnenca.

Zbog visoke cijene ozonske opreme i njene primjene, ozon se samo povremeno koristi za dezinfekciju vode. Energija se značajno gubi tijekom procesa proizvodnje ozona. Aldehidni ketoni su među nepoželjnim nusproduktima ozonizacije vode. Osim toga, voda na izlazu ne može biti potpuno sigurna ako su prisutni fenolni spojevi. U takvim okolnostima mora se izvršiti dodatna obrada. Ozon se rijetko koristi jer je najjače oksidacijsko sredstvo i vrlo je opasno samo po sebi. [10]



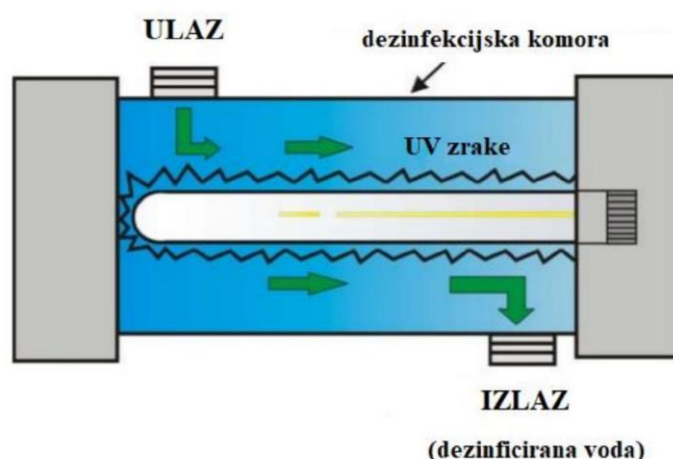
Slika 10. Molekula ozona

(Izvor: <https://atfirstglance.hr/product/ozon-generator-afg5g/>)

### 3.4.3. Dezinfekcija UV zračenjem

Korištenje ultraljubičastih (UV) zraka je još jedna mogućnost za dezinfekciju vode. Budući da UV zrake imaju baktericidni učinak, što uzrokuje neželjene metaboličke reakcije kod bakterija i u konačnici rezultira njihovom smrću, ovaj pristup dezinficira vodu u nekoliko sekundi. Koriste se kvarcne tzv. Ortutove lampe za UV zračenje. UV zrake voda lako upija, stoga voda mora biti potpuno čista i cirkulirati oko žarulje u tankom sloju (Slika 11). Za dezinfekciju vode najčešće se koristi UV svjetlo sljedećih valnih duljina: UV-A: 320–400 nm, UV-B: 280–320 nm i UV-C: 100–280 nm. Zračenje treba primjenjivati u UV-C spektru jer valovi valne duljine između 200 i 295 nm imaju najjači baktericidni učinak i najveću učinkovitost postižu na 260 nm. Osim što ubija bakterije, UV-C zračenje uništava i opasne protozoe koje su sporogene.

Ova metoda dezinfekcije ima prednost jer je jednostavna za korištenje, uz minimalnu potrošnju energije i ne unosi nikakve kemikalije u vodu. UV dezinfekcija ima nedostatke jer se njome ne može pravilno i jednostavno upravljati, ne pruža zaštitu od daljnje kontaminacije i UV žarulje se brzo troše. Iz tih se razloga metoda UV-zrakama kombinira s dodatkom potrebne koncentracije rezidualnog sredstva za dezinfekciju tj. dodatkom potrebnog reziduala klora.



Slika 11. Protok onečišćene vode kroz cijev osvijetljenim UV lampama

Područje primjene UV sterilizatora:

- Obrada bunarskih voda
- Pročišćavanje vode za piće
- Zdravstveni sektor (laboratoriji, bolnice i sl.)
- Desalinizacija
- Pročišćavanje procesne i tehnološke vode

### **3.5. Zbrinjavanje tehnološke vode nakon uporabe**

Kao nusproizvod svakog tehnološkog procesa, nastaju otpadne vode čijom obradom i pročišćavanjem nastaje mulj. Prema zakonskoj regulativi u Hrvatskoj, mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda klasificira se kao neopasni otpad koji se mora dalje obraditi, oporabiti i/ili zbrinuti na odgovarajući način, jer nije dozvoljeno odlaganje na komunalna odlagališta otpada. Termičkom obradom nastaje otpad (osušeni sanirani mulj i pepeo) koji se zbog svojih karakteristika i ukupnog kemijskog sastava može materijalno upotrijebiti u pojedinim granama gospodarstva, s posebnim naglaskom na građevinarstvo u proizvodnji cementa, betona, opeke, i drugih keramičkih materijala, ugradnju u asfaltne mješavine u cestogradnji i izradu zemljanih mješavina. [11]

## 4. ZAKLJUČAK

Na području Republike Hrvatske voda za piće je u većini slučajeva vrlo visoke kvalitete, što je neuobičajeno s obzirom na to da sve više uviđamo da voda koja nam se isporučuje iz gradskih vodovoda, bunara i distribucijskih sustava često sadrži značajne količine željeza i mangana, te ima visoku tvrdoću.

Kako bi se smanjila potrošnja prirodnih voda i općenito razborito iskorištavalo vodno bogatstvo, u industriji se primjenjuje ponovna upotreba vode i kruženje vode.

U vodama onečišćenima otpadom, kvaliteta voda može se održati samo uz primjenu različitih postupaka za pročišćavanje otpadnih voda koji su dio složenog sustava zaštite voda.

Primjenom postupaka dezinfekcije može se uspješno smanjiti mikrobiološka kontaminacija vode, iako je potrebno poštivanje industrijskih standarda, uputa proizvođača dezinficijensa te sigurnosnih i zdravstvenih mjera.

Klorni preparati su najpopularniji zbog jednostavnosti upotrebe, pristupačnosti i prednosti rezidualnog dezinfekcijskog djelovanja, no postoje i sigurniji i zdraviji načini za dezinfekciju vode, kao što je korištenje sustava koji se temelje na ozonu ili UV zračenju, ali obično imamo malo kontrole nad kemikalijama za dezinfekciju koje koriste organizacije odgovorne za taj zadatak.

Neophodno je upravljati vodom na održiv način, budući da nema druge mogućnosti ako zagađujemo vodu.

## 5. LITERATURA

- [1] Tušar B.: „Pročišćavanje otpadnih voda“, Kigen d.o.o., Zagreb (2009.), ISBN 978-953-6970-65-0
- [2] Voda kao tvar,  
[https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/2019\\_Voda\\_kao\\_tvar\\_Oresic.pdf](https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/2019_Voda_kao_tvar_Oresic.pdf), pristupljeno: 09.09.2022.
- [3] Anomalija vode, <http://struna.ihjj.hr/naziv/anomalija-vode/34579/>, pristupljeno: 25.08.2022.
- [4] Žic E., Vasović D.: „Podrijetlo vode i njeno značenje na planeti zemlji“, <https://hrcak.srce.hr/file/335308>, pristupljeno: 05.08.2022.
- [5] Đikić D., Glavač H., Glavač V., Hršak V., Jelavić V., Njegač D., Simončić V., Springer O.P., Tomašković I., Vojvodić V.: „Ekološki leksikon“, Barbat, Zagreb (2001.)
- [6] Omerdić N.: Stručni prikaz: Kloriranje vode, <https://hrcak.srce.hr/file/380104>, pristupljeno 02.10.2022.
- [7] Podhorsky R., Požar H., Štefanović D.: „TEHNIČKA enciklopedija“, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, ISBN 953-6036-50-9
- [8] Vuković Domanovac M.: „Voda“, <https://tehnika.lzmk.hr/voda/>, pristupljeno: 29.08.2022.
- [9] Dr. Olujić Ž., Dr. Šef F.: „Projektiranje procesnih postrojenja“, SKTH/Kemija u industriji, Zagreb (1988.), ISBN 86-80907-09-X
- [10] [Građevinski institut - Zagreb, Tedeschi S.: „Zaštita vodnih sustava i pročišćavanje otpadnih voda“, Zagreb \(1983.\)](#)
- [11] Tušar B.: „Ispuštanje i pročišćavanje otpadne vode s zakonskom regulativom“, CROATIANKJIGA, Zagreb (2004.), ISBN 953-6321-34-3

[12] Mayer D.: „Voda od nastanka do upotrebe“, Prosvjeta d.o.o., Zagreb (2004.), ISBN 953-7130-09-6



## 6. PRILOZI

### 6.1. Popis slika

Slika 1. Molekula vode.....	3
Slika 2. Ciklus kruženja vode u prirodi.....	4
Slika 3. Podzemne vode koje nastaju od oborinskih i površinskih voda.....	6
Slika 4. Projekcija potražnje za vodom u industriji.....	9
Slika 5. Kamenac u cijevi.....	12
Slika 6. Pojava korozije.....	13
Slika 7. Rashladni toranj.....	15
Slika 8. Vatrocjevni kotao.....	17
Slika 9. Vodocjevni kotao s uzdužno postavljenim bubnjem.....	18
Slika 10. Molekula ozona.....	26
Slika 11. Protok onečišćene vode kroz cijev osvijetljenim UV lampama.....	27

### 6.2. Popis tablica i dijagrama

Dijagram 1. Postotak slane i slatke vode na Zemlji.....	2
Tablica 1. Svojstva vode.....	3
Tablica 2. Raspodjela vodnih resursa na Zemlji.....	5
Tablica 3. Specifična potrošnja vode za neke industrijske proizvode.....	8